

превратить в сигналы, т. е. использовать для передачи информации. Примером таких процессов могут быть, скажем, волны де Бройля, распространяющиеся с фазовой скоростью, превышающей скорость света. Это связано с тем, что бесконечная монохроматическая волна не несет никакой информации и поэтому не может быть сигналом. Передать информацию можно лишь с помощью группы волн, центр которой распространяется с *групповой скоростью* (61.36). В частности, для волн де Бройля, как можно показать, групповая скорость совпадает со скоростью v частицы, ассоциируемой с этой волной, и связана с фазовой скоростью u волны соотношением (68.6). При этом $u > c$, так как $v < c$ и предполагается, что с частицей всегда можно связать систему отсчета.

Допустимо существование и реальных частиц, движущихся со скоростью, большей скорости света, если отказаться от обычно подразумеваемой независимости процессов их испускания и поглощения. Для обычных, *досветовых*, частиц ($u < c$) процесс испускания (эмиссии) во всех возможных системах отсчета предшествует процессу поглощения (абсорбции). Для *сверхсветовых* же частиц ($u > c$) последовательность процессов эмиссии и абсорбции зависит от выбора системы отсчета [см. (68.8)], т. е. произвольна. Таким образом, если допустить, что сверхсветовая частица, испущенная в точке x_1 эмиттером E , поглощается в точке x_2 регистрирующим прибором — абсорбером A , то в некоторой другой возможной системе отсчета процесс абсорбции в точке x'_2 предшествует процессу эмиссии в точке x'_1 . Тем самым нарушается макроскопическая причинность, так как следствие (регистрация частицы) предшествует причине (испусканию частицы). Если же для сверхсветовых частиц не противопоставлять процессы поглощения и испускания, а рассматривать их как единый процесс эмиссии — абсорбции, или абсорбции — эмиссии, т. е. не считать возможной регистрацию лишь одного процесса поглощения частицы, а полагать осуществимой только регистрацию всего процесса сразу в обеих точках x_1 и x_2 , то противоречия с принципом причинности не возникнет.

Таким образом, теории относительности не противоречит допущение о существовании точечных объектов, движущихся со сверхсветовой скоростью, испускаемых и поглощаемых обычными частицами в различных пространственных точках. Однако последовательность процессов эмиссии и абсорбции для этих объектов относительна, т. е. зависит от выбора системы отсчета. Такие гипотетические сверхсветовые частицы (*таххионы*) представляются в одной системе отсчета движущимися от точки x_1 к точке x_2 , а в другой — от x_2 к x_1 . Подробнее о свойствах тахионов будет сказано в § 96.

Помимо эффекта десинхронизации имеется еще два кинематических эффекта теории относительности (уже второго порядка), наиболее поражающие воображение: это эффекты сокращения движущихся масштабов и замедления хода движущихся часов.

§ 69. ИЗМЕНЕНИЕ ДЛИНЫ ДВИЖУЩИХСЯ ТЕЛ

Пусть некоторое тело движется относительно неподвижной системы отсчета Σ со скоростью v . Свяжем с ним подвижную систему отсчета Σ' и допустим, что сравнением с эталонными масштабами, установленными в той же системе, найдено, что длина тела равна l_0^* . Под длиной же движущегося тела следует, очевидно, понимать

* Длину l_0 обычно называют *собственной длиной* тела.

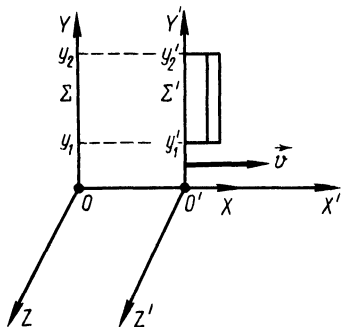


Рис. 69.1

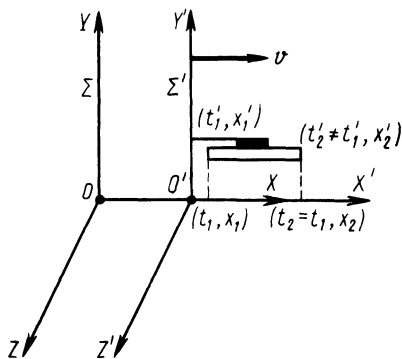


Рис. 69.2

расстояние между положениями его концов, зарегистрированными в неподвижной системе отсчета в один и тот же момент времени. *Одновременность* измерения положений концов тела является существенно необходимым условием опыта. Нарушение этого условия привело бы к тому, что измеренная длина могла бы оказаться какой угодно, в том числе даже отрицательной.

Если концы тела расположены в плоскости, перпендикулярной вектору скорости v (рис. 69.1), то измерение его длины в обеих системах Σ и Σ' даст одно и то же значение l_0 , поскольку [см. (67.18)] $y' = y$ и $z' = z$. Выбор момента измерения тоже никак не сказывается на измеряемой длине, так как подстановка $x_2 = x_1$ и $t_2 = t_1$ в (68.2) дает $t'_2 = t'_1$, т. е. регистрация положений концов тела производится одновременно как в системе Σ , так и в системе Σ' .

Однако картина существенно изменится, если тело будет вытянуто вдоль оси X' , т. е. вдоль направления движения (рис. 69.2). Если в системе Σ моменты регистрации положений концов тела совпадают ($t_2 = t_1$), то из-за относительности одновременности пространственно разобщенных событий в системе Σ' эти моменты уже не совпадают, поэтому результат измерения длины отличается от l_0 , так как l_0 может получиться только при условии $t'_1 = t'_2$.

С точки зрения наблюдателя в системе Σ длина тела, очевидно, равна

$$l = x_2 - x_1 \quad (69.1)$$

при условии $t_2 = t_1$. Так как $x'_2 - x'_1 = l_0$, то [см. (68.2)] имеем $l_0 = \gamma(x_2 - x_1) = \gamma l$, откуда

$$l = l_0 \sqrt{1 - v^2/c^2}. \quad (69.2)$$

Таким образом, *движущееся тело сокращается в направлении своего движения*. Формула сокращения (69.2) имеет такой же вид, как и формула Физджеральда (64.1), но входящая в нее скорость v является уже не скоростью тела относительно эфира, как в (64.1), а относительной скоростью систем отсчета Σ и Σ' . Поэтому

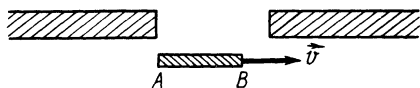


Рис. 69.3

с телом систему Σ , а длину его измерять в системе Σ' , то надо считать $l_0 = x_2 - x_1$ и

$$l = x'_2 - x'_1, \quad t'_2 = t'_1. \quad (69.3)$$

Теперь уже для нахождения связи между l и l_0 нужно использовать не формулы (68.4), а аналогичные соотношения, вытекающие из обратных преобразований Лоренца (67.19):

$$x_2 - x_1 = \gamma [(x'_2 - x'_1) + v(t'_2 - t'_1)], \quad t_2 - t_1 = \gamma [(t'_2 - t'_1) + v(x'_2 - x'_1)/c^2]. \quad (69.4)$$

Полагая, согласно (69.3), в первой из этих формул $t'_2 = t'_1$, получаем $x_2 - x_1 = \gamma(x'_2 - x'_1)$, т. е. опять $l = l_0 \sqrt{1 - v^2/c^2}$.

Таким образом, при измерении длины движущегося тела всегда обнаруживается его сокращение. В то же время по формуле Фицджеральда (64.1) тело сокращается лишь в том случае, когда оно наблюдается из системы отсчета, связанной с неподвижным эфиром; если же тело покоится относительно эфира, то из движущейся системы отсчета оно должно представляться удлинённым. Итак, в эфирной теории эффект сокращения абсолютен, тогда как в теории относительности он относителен и обусловлен относительностью одновременности пространственно-разобобщенных событий.

Задача 69.1. Стержень собственной длины l_0 движется вдоль оси X неподвижной системы отсчета Σ со скоростью u . Каким будет результат измерения его длины l' в системе Σ' , движущейся относительно Σ со скоростью v ?

Задача 69.2. Стержень AB собственной длины l_0 скользит со скоростью v вдоль стенки, имеющей отверстие той же ширины l_0 (рис. 69.3). В тот момент, когда стержень поравнялся с отверстием, он получает извне некоторый импульс по направлению к стенке и проходит через отверстие. Как будет выглядеть этот процесс в системе отсчета Σ' , движущейся вдоль стенки со скоростью v^* ?

Задача 69.3. Два электрона помещены в постоянное электрическое поле E плоского конденсатора. В момент времени $t=0$ электроны неподвижны и расстояние между ними равно l . Каково расстояние между электронами в момент, когда они приобретут скорость v ?

§ 70. ИЗМЕНЕНИЕ ХОДА ДВИЖУЩИХСЯ ЧАСОВ

Для измерения хода часов C' , движущихся со скоростью v относительно неподвижной системы отсчета Σ , свяжем с ними систему отсчета Σ' и сравним их показания с показаниями синхронизованных часов C_1 и C_2 , помещенных соответственно в точках x_1 и x_2 системы Σ . Сравнение будем производить в те моменты, когда часы C' проходят через данные

* Стержень считать безынерционным и неупругим.